干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

doi:10.12118/j.issn.1000-6060.2018.06.04

安康水电站精细化降水预报的检验①

高红燕[1]，席秋义[2]，王　丹[1]，张宏芳[1]，浩　宇[1]
(1　陕西省气象服务中心,陕西　西安　710014;　2　国网陕西省电力公司电力科学研究院,陕西　西安　710100)

摘　要: 降水精细化数值预报模式的发展是开展精细化降水预报业务的理想途径,而模式本地化中的误差评估是当前开展业务应用的重要环节。基于此,运用误差分析、晴雨预报准确率、降水 *TS* 评分方法评估陕西精细化数值预报攻关团队提供的2016年5月1日~9月30日安康水电站降水预报。结果表明:随着降水时效的增长,降水的预报准确率呈减小趋势;大雨以上的降水过程预报较好且未出现漏报,但量值与实况有差异,预报值小于实况值;20时起报的预报准确率大于08时起报的准确率且夜间的高于白天;降水日数多的月份 *TS* 评分预报准确率高于降水日数少的月份。比较安康和石泉的结果发现,安康的预报准确率明显优于石泉,主要原因是安康降水日数比石泉多,且大的降水过程比石泉少。逐1 h、3 h的72 h以内的降水预报可以为安康水电厂水利调度具有参考价值。

关　键　词: 数值预报,检验评估,降水预报
中图分类号: P426.4　　**文献标识码:** A　　**文章编号**

安康水电站[1-3]位于汉江上游流域,距安康市城西18 km,其上游距石泉水电站170 km,下游距湖北丹江口水电站260 km,是陕西省最大的水力发电厂,也是汉江上游已建成运行的水库中规模最大、影响范围最广的多功能水利工程。该水电站目前进行的洪水预报是基于落地雨进行的预报,从降水落地到水库坝前洪峰的出现预见期最短约在3~6 h,严重地限制了安康水库洪前腾库、洪尾拦蓄、洪水利用的能力。定性的短期降水预报尽管可以提供宏观上的参考,但无法与现有的水库调度自动化洪水预报系统的功能模块进行衔接。客观上,安康水电站需要覆盖全流域的定量、定时、定点的精细化降水预报,以实现延长洪水的预见期,争取防洪调度的主动性,从而减少洪灾损失,提高洪水资源利用效益。随着全球气候变暖和人类活动的加剧,汉江流域年降水量呈减少趋势,但夏季降水量却呈增加趋势[4-5],且降水强度也呈增加趋势[6]。由于降水强度对洪水灾害的发生直接的影响,因此,提供洪水及其引发的次生灾害的早期预警成为越来越急迫的任务。洪水的发生与发展取决于气象因素和地理因素[7],融合预报的格点化定量降水预报技术是提高面向流域洪水预报精度的重要方法[8]。过去,气象业务部门给安康水电厂提供的降水预报主要以定性预报为主,缺乏定时、定量、定点的预报,数值预报的发展为解决流域尺度定量、定时、定点的降水精细化预报提供了可能。陕西省气象局2017年正式投入业务应用的精细化数值预报产品集合了多种模式的结果,时间分辨率达到1 h,其预报准确率高于单一的数值预报。安康水电厂地处秦岭以南,地形复杂,降水分布不均,预报难度大,精细化预报产品的降水的效果如何,需要进行系统地检验和评估,以确定是否可应用于安康水电厂的洪水调度业务。目前,对于数值预报模式输出的结果的评估方法有许多种[9-13],且对模式的检验时间分辨率多数为24 h,本文选择安康水电站及上游石泉水电站所在地的降水为检验点,通过检验两个站点不同起报时间精细化预报的误差、晴雨预报、*TS* 评分来确定降水精细化预报在安康水电厂投入业务应用的可能性,为流域的降水预报提供参考。

①　**收稿日期:** 2018-06-03;　**修订日期:** 2018-09-26
基金项目: 国网陕西省电力公司,(5226AS150004);陕西省气象局重点科研项目(2016Z-1)
作者简介: 高红燕(1966-),女,陕西延川县人,高级工程师,本科,主要从事应用气象研究及业务. E-mail:gaohongyan121@163.com

1 资料和方法

1.1 资料的选取和来源

所用资料为陕西省气象局数值精细化预报攻关团队提供的精细化预报产品，每日 08 时和 20 时起报的 DCOEF(dynamic cross optimal Elements Forecasting)高分辨率数值预报产品，空间分辨率为 0.025°×0.025°，时间分辨率包括逐 1 h 降水预报为 3 d，逐 3 h 预报为 4 d，逐 6 h、12 h、24 h 均为 10 d 的降水预报。降水实况资料是 2016 年 5 月 1 日～9 月 30 日石泉县和安康市自动气象观测站的逐 1 h、24 h 降水量实况观测值，24 h 内降水量≥0.1 mm 计为一个降雨日数。根据需要，对资料做如下处理：(1)通过双线性插值法将 DCOEF 降水预报插值到石泉和安康站点。(2)对石泉和安康的降水观测资料进行预处理，使其与模式产品的预报时段相匹配。

1.2 方 法

精细化预报产品的检验方法应用气象部门针对降水质量评价常用的误差(Δ)、晴雨预报准确率(PC)、TS 评分、空报率(NH)、漏报率(PO)，检验公式如下：

$$\Delta = f_i - o_i \tag{1}$$

$$PC = \frac{NA + ND}{NA + NB + NC + ND} \tag{2}$$

$$TS = \frac{NA}{NA + NB + NC} \tag{3}$$

$$PO = \frac{NC}{NA + NC} \tag{4}$$

$$NH = \frac{NB}{NA + NB} \tag{5}$$

式中：f_i 为降水预报值；o_i 为降水实况值；NA 为预报正确次数；NB 为空报次数；NC 为漏报次站数；ND 为预报与观测均无降水次数。通过以上方法对 08 时、20 时起报的降水进行不同时效的质量检验和评估，确定降水预报的时效性及可靠性。

2 结果分析

2.1 降水实况与预报对比分析

2.1.1 观测的降水量和降水日数特征 为了检验精细化数值预报产品的降水可靠性，需要对实测的降水量和降水日数进行分析。分析表明，石泉 5～9 月比历年同期(1981—2010 年 30 a 平均)偏少 4%，5～7 月降水量偏多，6 月 23 日出现了 115.1 mm 的大暴雨，8～9 月降水偏少，尤其是 8 月降水量只有 28.6 mm，比历年同期偏少 82%，是 1960 年以来第 4 个少雨月，5～9 月大雨及以上的累计降水量 412 mm，占 5～9 月降水量的 63.5%，大雨及以上的降水量是 5～9 月降水量的主要贡献者，8 月 12～24 日出现了连续 13 d 的大于 35 ℃的高温天气；安康 5～9 月降水量与历年同期比较偏少 25%，5～6 月偏多，7～9 月偏少，8 月降水量只有 33.9 mm，比历年同期偏少 75%，是 1954 年以来第 5 个少雨月，大雨及以上的降水量为 214 mm，占 5～9 月降水量的 45.6%，8 月出现大于 35 ℃的高温天气 21 d，其中 8 月 10～25 日连续 16 d≥35 ℃和 13～21 日连续 9 d ≥38 ℃的高温天气，其中有 2 d 大于 40 ℃的高温天气。无论石泉还是安康，6 月降水偏多，8～9 月降水偏少，8 月是典型的高温、少雨月。

上述分析给出了分析时段实测的降水量与历史同期的比较，进一步分析不同等级降水在 5～9 月出现的降水日数。统计分析表明，2016 年 5～9 月石泉站共出现降水日数 48 d，比历年同期少 14 d。除 7 月降水日数多于历史同期之外，其它月份均少于历史同期。暴雨及以上降水出现 2 d，6、7 月各出现 1 d，大雨出现 7 d，其中 7 月出现 5 d，6、8 月各出现 1 d。7 月是 5～9 月中出现降水日数最多的月份，8 月只出现了 5 d，比历年同期少了 9 d，除了一次大雨 26.1 mm 外，其余 4 d 的累计降水量均在 2.5 mm 以下。安康 5～9 月共出现 50 d 降水日，比历年同期少 9 d，大雨出现 4 d，除 8 月以外，其它 4 个月各出现 1 d，暴雨只在 6 月出现 1 d，除 8 月降水日数出现 6 d 外，其余几个月都在 10～12 d，7～9 月降水日数比历年同期分别少 3 d、5 d、2 d。

综上所述，无论石泉还是安康，6 月是 5～9 月降水总量的主要贡献月，8 月是干旱、少雨和高温月。5～9 月石泉的降水量接近历年同期但降水日数偏少，说明降水强度大，降水量的主要贡献是 9 次大的降水过程，占降水量的 63.5%，8～9 月是典型的少雨月；安康 5～9 月降水量偏少 25%，5～6 月降水偏多，7～9 月降水偏少，大雨及以上量级的降水过程占 5～9 月总降水量的 45.6%。石泉比安康降水量大，降水日数少，大雨以上量级的降水过程石泉比安康多 4 d 且出现了一次大暴雨过程，降水分布不均。

2.1.2 降水实况与预报对比分析 利用预报值与实况值的差异来评估精细化降水模式产品的时效性和可信度。降水实况选择 08 ~ 08 时、20 ~ 20 时两个时次 24 h 降水量,降水误差值为降水预报值减去降水实况值。图 1、图 2 是精细化预报安康、石泉 08 时、20 时起报的未来 10 d 的降水预报值、实况值及误差值。正的误差表示预报值比实况值大,负的表示预报值比实况值小。

由图 1 可以看出,安康的降水预报无论是 08 时起报还是 20 时起报,大的过程降水无漏报,降水量越大,误差值越大。08 时起报的大雨(25 mm)以上的量级出现了 3 次,分别是 5 月 31 日、6 月 23 日、9 月 26 日,降水量分别是 51.1、76.1、45.1 mm,96 h 以内的降水平均误差为 -29.6 mm;20 时起报的大雨以上量级的降水过程出现 5 次,分别是 5 月 30 ~ 31 日、6 月 23 日、7 月 13 日、9 月 25 日,对应的降水量分别为 33.0、37.1、71.7、29.8、42.4 mm,平均降水量为 42.8 mm,96 h 内平均误差为 -16.7 mm,比 08 时起报的误差值小,且 20 时起报的预报值比实况值有时偏大有时偏小,08 时起报的却是整体偏小。总体来讲,20 时起报的预报效果优于 08 时。96 h 以内的预报,20 时起报出现了 2 次大雨的空报,08 时起报的只出现 1 次,出现在 6 月 24 日,实况是 6 月 23 日出现暴雨,预报时效滞后一天。

图 2 是石泉的预报值、实况值、误差值。可以看出,石泉大雨以上的降水过程预报与安康一致,无漏报,但预报比实况值小,一次空报发生在 6 月 24 日的96h预报中,在6月23日降水结束后,预报比实

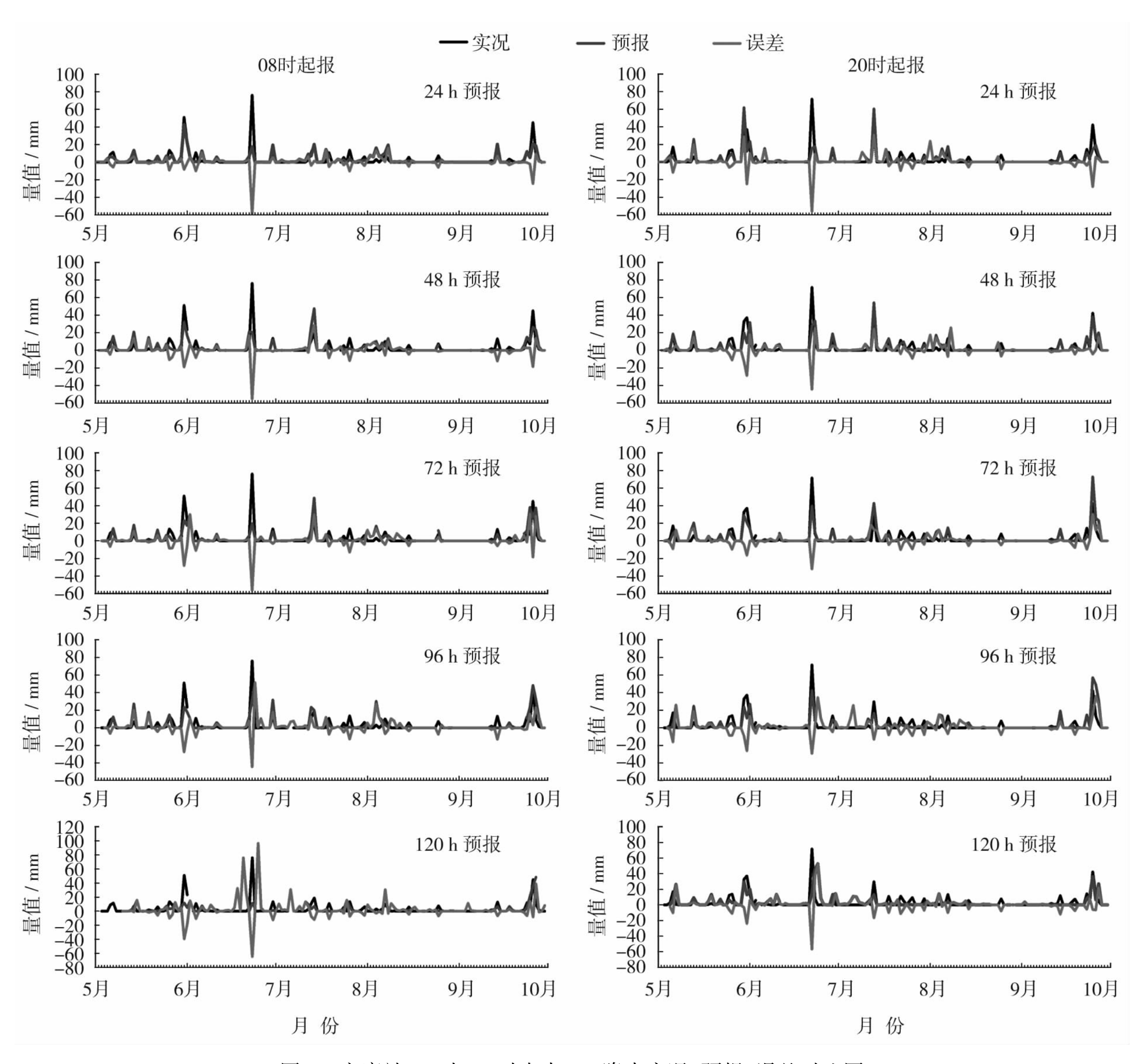


图 1 安康站 08 时、20 时未来 5 d 降水实况、预报、误差对比图

Fig. 1 Comparisons of real-time rainfall, forecast and bias initialized in 08:00, 20:00 for the next 5 days at Ankang Station

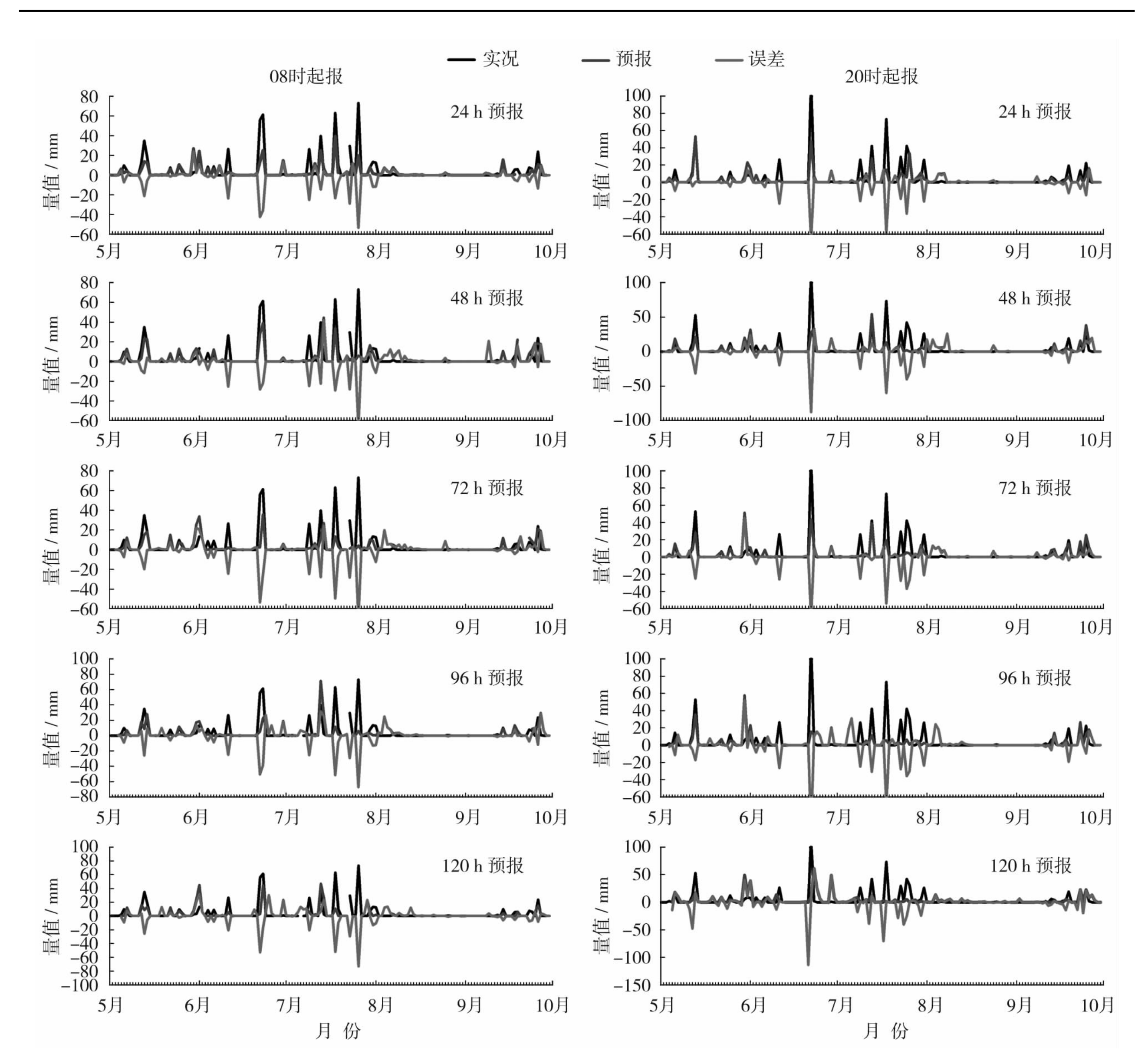


图 2 石泉站 08 时、20 时未来 5 d 降水实况、预报、误差对比图

Fig. 2 Comparisons of real-time rainfall, forecast and bias initialized in 08:00, 20:00 for the next 5 days at Shiquan Station

况滞后 1 d;从平均误差值来看,石泉的预报效果比安康略差一些,主要差异在大雨以上量级的预报,石泉大的降水过程比安康多,降水量越大,误差值越大,如 8 月石泉降水量 28.6 mm,安康 33.9 mm,是典型的少雨月,是水库的枯水期,石泉、安康 24 h 预报平均误差分别为 1.3 mm、1.7 mm,降水量级小,空报率较多,预报值略偏大,预报误差值明显小于多雨的 7 月。安康、石泉的 08 时和 20 时起报的 24 h 降水预报值与实况值比较发现,安康的预报值大于实况,石泉的预报值小于实况,08 时起报的预报优于 20 时起报,随着预报时效的增长,降水预报质量均呈下降趋势,其中 72 h 内逐 24 h 降水预报值与实况值有较好的相关性,主要降水时期基本一致,尤其是大雨以上量级的降水过程未出现漏报,预报值小于实况值;而 96 ~ 120 h 的降水预报质量比 72 h 差。相对而言,安康站的降水预报效果优于石泉站,原因是石泉大的降水的频次多于安康,其降水量占到总降水量的 54.8%,导致预报误差值大。

相关分析表明,随着预报时效的增大,石泉站和安康站的降水预报质量均呈下降趋势,其中 72 h 内逐 24 h 降水预报值与实况值有较好的相关性,主要降水期基本一致,相关系数均通过了 99% 的显著性检验,而 168 ~ 240 h 的降水预报质量明显变差。

2.2 晴雨预报准确率的检验

晴雨预报准确率是有降水预报正确次数和无降水正确预报次数之和与总预报次数的比值。为

了检验精细化预报的晴雨预报准确率,在此设定逐 1 h 预报时效为 72 h(3 d)、逐 3 h 预报时效为 96 h(4 d),而逐 6 h、逐 12 h、逐 24 h 预报时效均为 240 h(10 d),通过检验来确定精细化预报时效在多长时效范围内对安康水电厂降水预报具有参考价值。

图 3 是石泉、安康 08 时、20 时起报的预报时效图。由图 3 可以看出,无论起报时间是 08 时还是 20 时,逐 1、3、6、12 h 的预报准确率均呈夜间高白天低的波动变化,随着预报时效的增长,准确率呈下降趋势,夜间的准确率均高于 60%,逐 1、3 h 白天的预报准确率也高于 60%,而逐 6、12 h 白天的准确率却低于 60%。无论那个时次,72 h 内的预报准确率均高于 60%,说明 72 h 内的预报可信度比较高。逐 1、3、6、12 h 的定时定量预报能确定降水出现的时间段,逐 1 h 的准确率最高,其次是逐 3、6、12、24 h,逐 1 h 的预报更加精细,可作为其它预报时效的补充,为此下面着重分析了逐1 h的预报准确率。从

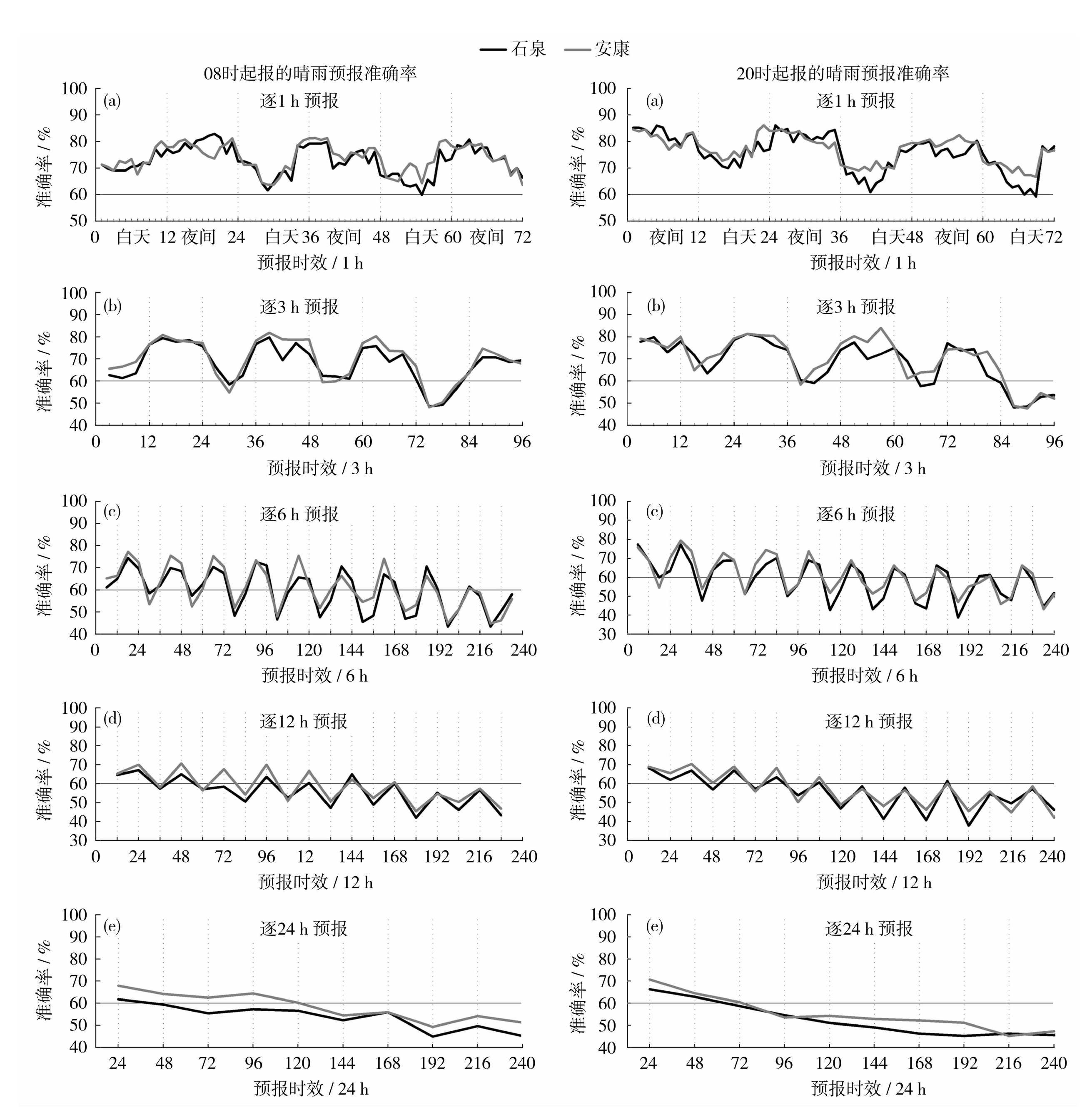


图 3 石泉、安康站 08、20 时不同预报时效晴雨预报准确率变化

Fig. 3 Variation of clear-rain forecasting accuracy rate at different prediction time initialized in 08:00 and 20:00 for he Shiquan and Ankang Stations

表1可以看出08、20时起报逐1 h的晴雨预报平均准确率石泉为72.7%、75.6%,安康为73.8%、77.1%,无论石泉、安康20时起报的预报准确率明显高于08时起报的准确率,安康高于石泉,24 h预报无论白天、夜间,安康均高于石泉,48 h的预报准确率除20时起报的夜间石泉高于安康外,其余都是安康的高于石泉,72 h预报除08时起报的夜间石泉高于安康外,其余都是安康高于石泉。72 h内逐1 h预报准确率高的时段出现在19时至早晨07时之间,不同的预报时效出现的时间点不同,预报效果最差的出现在10~13时,夏季如果不是动力引起的降水,对流系统一般也有较为明显的日变化[14-15],随着昼夜辐射变化,大气低层温度升降,局地热力对流云的发展和演变有着明显的日变化特征。在内陆地区[16],一般9~10时开始出现局地对流云,以后逐渐增多,发展旺盛,15~16时达到最强,入夜后逐渐消散。夜间预报准确率高于白天的主要原因是5~9月属于汛期多雨时段,尤其是午后易形成热力对流性天气,多突发性阵雨出现,属于中小尺度的降水,在天气系统上不易反应出来,同时汛期石泉、安康受副热带高压的影响,降水天气也易出现空报或漏报,到了夜间热力对流天气减少,突发性阵性降水减少,因而夜间预报准确率高于白天。

2.3 降水预报的 *TS* 检验

降水 *TS* 评分是气象部门用来评估降水预报质量的重要方法之一,是指降水预报正确次数除以降水预报正确次数、降水空报次数、降水漏报次数的总和,具体方法见公式(3)。这里,降水 *TS* 评分主要针对逐1 h的72 h预报和3 h的96 h内降水预报检验,通过检验来评估逐1 h、3 h的降水预报准确率及可信度,由于时间尺度比较小,逐1 h、3 h的降水 *TS* 评分不分等级检验。

图4是08时、20时起报的逐1 h的降水 *TS* 评分、空报率、漏报率。由图4可以看出,无论是08时起报还是20时起报,72 h内预报的安康降水 *TS* 评分高于石泉,预报最差的时间点都出现在白天的08~11时,预报效果最好的出现在夜间,造成降水 *TS* 评分质量不高的主要原因是空、漏报率较高,空报率高的原因是降水量比较小,空报多,尤其是预报24 h内有累计2 mm以下的降水量,预报提前或滞后,是造成空报率高的主要原因。降水实况在0.3 mm以下的漏报较多,降水预报提前或滞后。无论是空报率还是漏报率,石泉均大于安康。从降水逐月 *TS* 评分来看,9月预报准确率最高,其次是5月,最低的是8月,9月评分高的原因是降水日数相对较多,基本以小雨为主,出现了10 d,中雨出现了2 d,大雨只有安康出现了1 d;8月 *TS* 评分低的原因是高温、闷热、少雨,降水日数少,降水量偏小,空报率高,石泉只出现了6 d降水日,小雨占5 d;石泉、安康中雨各出现1 d,空、漏报率高导致降水 *TS* 评分低,尤其是0.1 mm的降水对生产无任何影响,但对降水的评分有影响。除7月以外,其它月份安康的降水 *TS* 评分高于石泉,7月石泉的降水日数(15 d)多于安康(12 d)。*TS* 评分低的另外一个原因是5~9降雨分布不均,降水量的贡献主要以大的降水过程为主,尤其是石泉大雨以上量级出现了9 d,安康比石泉偏南偏东,受副热带高压控制的影响,大的降水只出现了3 d,分布在5、6、9月,而7、8月未出现一次,导致降水 *TS* 评分较低。

图5是08时、20时起报的逐3 h的 *TS* 评分、空报率、漏报率。分析发现,08时、20时起报的逐3 h未来96 h (4 d)降水预报的 *TS* 评分,与1 h *TS* 降水评分一致;08时起报的 *TS* 降水评分在42、66 h的预报石泉、安康的结果相反,石泉达到最低,安康是

表1 石泉、安康08、20时起报的逐1 h (3 d)晴雨预报准确率 / %

Tab.1 Accuracy rate of hourly (3 d) clear-rain forecasts which initialized in 08:00 and 20:00 at the Shiquan and Ankang Stations / %

		石泉				安康			
		24 h	48 h	72 h	平均	24 h	48 h	72 h	平均
08时起报	白天	71.8	70.1	67.1	69.7	73.0	71.0	70.6	71.5
	夜间	78.7	74.5	74.3	75.8	77.7	76.7	74.0	76.1
	平均	75.2	72.3	70.7	72.7	75.4	73.9	72.3	73.8
20时起报	白天	74.3	69.1	68.2	70.5	77.6	72.3	71.3	73.7
	夜间	82.5	82.3	77.1	80.6	81.3	80.6	79.4	80.4
	平均	78.4	75.7	72.6	75.6	79.5	76.4	75.3	77.1

高值。3 h *TS* 降水评分平均高于逐 1 h,空报率 20 时起报的比 08 时起报的高,08 时起报的漏报率低于 20 时,20 时起报的空报率比 08 时起报的高,安康的漏报率低于石泉,跟逐 1 h 的相反。各月降水评分与 1 h 的趋势一致,无论是逐 1 h 还是逐 3 h 的 *TS* 评分,低的时段主要是空报率造成的,08 时起报的 48 ~ 54 h 及 20 时起报的 36 ~ 42 h 的 *TS* 评分低是由于漏报率高的原因造成。

总体来说,石泉、安康夜间的预报准确率高于白天,而安康的 *TS* 评分高于石泉,与逐 1 h 的预报效果一致,36 ~ 48 h 预报时段内石泉、安康的趋势是相反的,石泉是偏高趋势,安康是偏低趋势,漏报率明显小于空报率。无论从 *TS* 评分还是空、漏报率,逐 3 h 的准确率均高于逐 1 h 的,从逐月 *TS* 评分来看,与逐 1 h 的趋势一致,9 月最高,8 月最低。

3 结 论

本文利用陕西省精细数值预报攻关团队提供的 2016 年 5 月 1 日 ~ 9 月 30 日的 08 时、20 时起报精细化格点降水预报及石泉、安康降水实况,基于误差分析、晴雨预报、*TS* 评分统计方法,检验评估精细化预报模式逐 1 h(3 d)、3 h(4 d)、逐 6 h、12 h、24 h 分别为 10 d 对安康水电厂的降水预报能力,探索精细化预报在安康水库调度中的应用,得出如下结论:

(1) 通过对石泉、安康站点降水的检验表明:随着预报时效的增长,预报能力整体降低,大的降雨过程未出现漏报,安康的预报值略大于实况值,石泉的却小于实况值;晴雨预报检验表明,石泉、安康无论 08 时起报还是 20 时起报的降水预报,夜间的准确率均高于白天,20时起报的高于08时起报,安康的

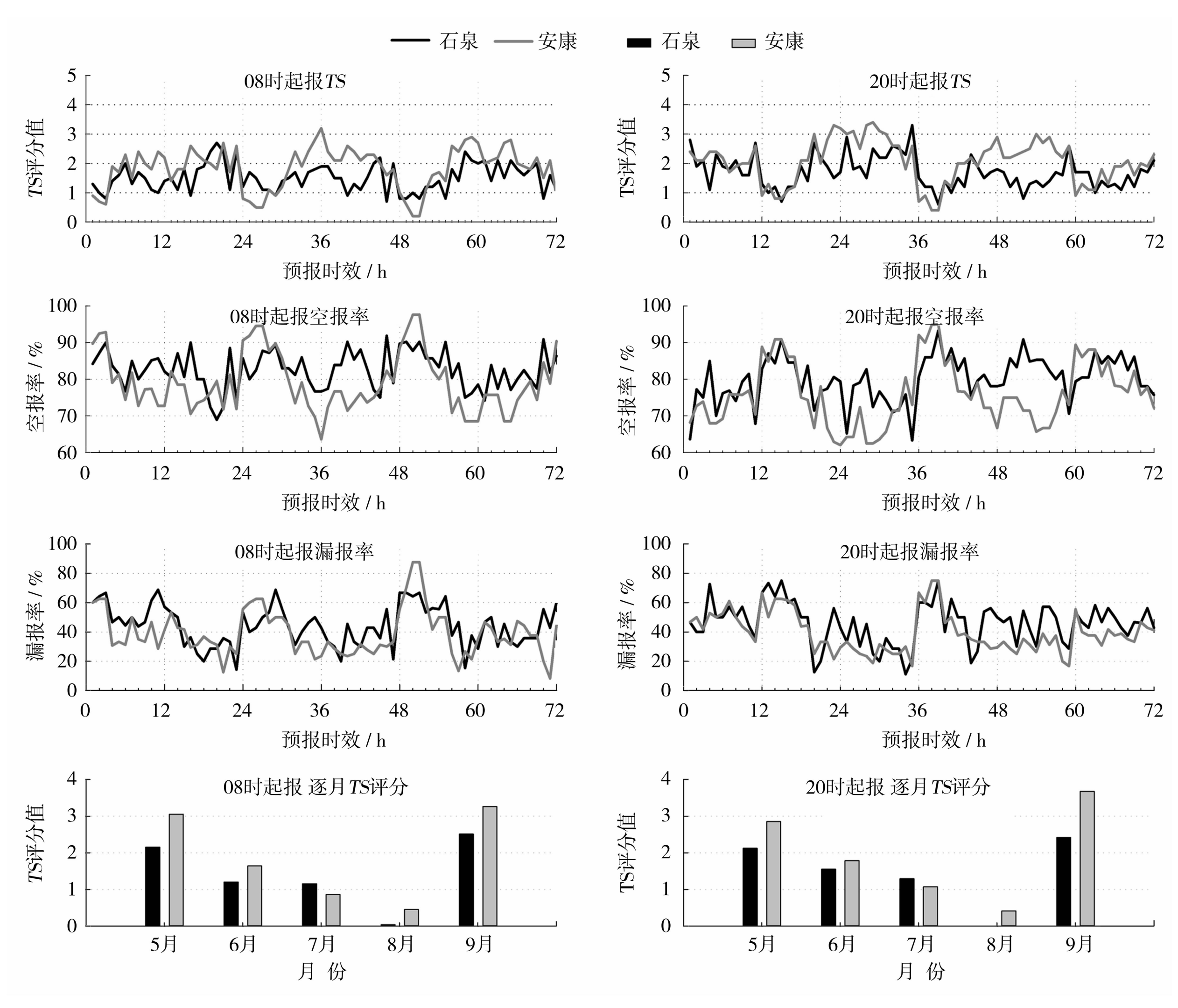


图 4 石泉、安康站 08、20 时 72 h 逐 1 h 的 *TS* 评分、空、漏报率

Fig 4 Hourly *TS* score, empty and false forecast rates of the 72 h forecast at the Shiquan and Ankang Stations

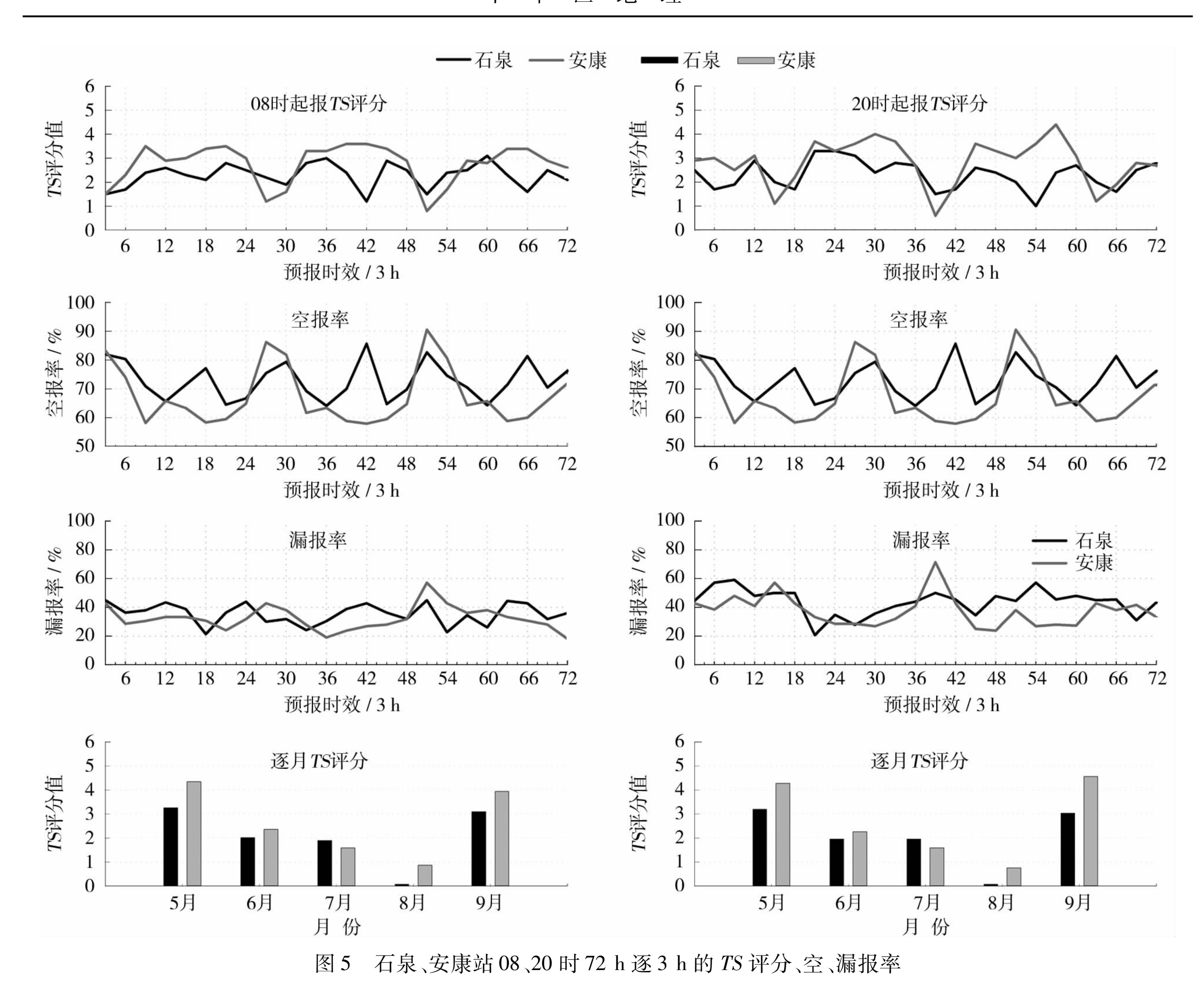


图 5 石泉、安康站 08、20 时 72 h 逐 3 h 的 *TS* 评分、空、漏报率

Fig 5 3 - hourly Variations of *TS* score, empty and false forecast rates of the 72 h forecast at the Shiquan and Ankang stations

预报准确率高于石泉；逐 1 h、3 h 预报的准确率明显高于其它时段的预报；*TS* 评分说明，降水日数越多预报准确越高，空报率大于漏报率。

（2）通过对降水模式的检验评估发现，72 h 内的逐 1 h、3 h 预报可信度较高，模式预报与实况相关性较好，降水预报的定时、定点、定量对安康水电厂水库调度具有应用价值。

（3）本文仅对 2016 年 5 ~ 9 月石泉、安康降雨进行了检验和评估，由于 2016 年汛期降雨分布不均，6 月降雨偏多，8 月是典型的干旱、高温、少雨月。

由于检验年限较短，今后在业务应用中应继续进行更长时间得检验和订正，为洪水及径流量预报提供可信度较高的精细化降水预报。

参考文献（References）

[1] 马聪，鲁春霞，李亦等. 安康水库下游径流演变及水库运行对径流影响分析[J]. 长江流域资源与环境，2013，22(11)：1433 - 1440. [MA Cong, LU Chunxia, LI Yi, et al. Runoff chang in the lower reaches of Ankang reservoir and the influence of Ankang reservoir on its downstream[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2013, 22(11): 1433 - 1440.]

[2] 黄继元. 南水北调水源地安康水库水质分析和保护对策[J]. 人民长江，2005，36(8)：27 - 28. [HUANG Jiyuan. Water quality analysis and protection policy of Ankang reservoir in South-to-north Water Diversion Project[J]. Yangtze River, 2005, 36(8): 27 - 28.

[3] 贾志峰，刘招，朱红艳，等. 基于双指标的安康水库防洪预报调度规则研究[J]. 长江流域资源与环境，2012，21(10)：1281 - 1286. [JIA Zhifeng, LIU Zhao, ZHU Hongyan, et al. Researchon flood forcast operation scheme with double indicators for Ankang reservoir[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2012, 21(10): 1281 - 1286.]

[4] 王娜，孙娴，蔡新玲，等. 安康水库蓄水前后上游气候变化特征[J]. 气象科技，2010，38(5)：649 - 654. [WANG Na, SUN Xian, CAI Xinling, et al. Characteristic of climte change in Ankang reservoir upstream basin before and after impoundment[J]. Meterorologicial Science and Technology, 2010, 38(5): 649 - 654.]

[5] 张洪刚，王辉，徐德龙，等. 汉江上游降水与径流变化趋势研究[J]. 长江科学院院报，2007，24(5)：27 - 30. [ZHANG Honggang, WANG Hui, XU Delong, et al. Changing tendency of water resources for upper Hanjiang River[J]. Journal of Yangtze River

Scientificresearch Institute,2007,24(5):27 -30.]

[6] 蔡新玲,叶殿秀,孙娴,等.1961—2011 年陕西省汛期短时降水变化特征[J].高原气象,2014,33(6):1618 -1626.[CAI Xinling,YE Dianxiu,SUN Xian,et al. Hourly precipitation variability features in Shaanxi Province in flood season during 1961—2011[J]. Plateau Metorlogical,2014,33(6):1618 -1626.]

[7] 赵琳娜,刘莹,党皓飞,等.集合数值预报在洪水预报中的应用进展[J].应用气象学报,2014,25(6):641 -652.[ZHAO lingna,LIU Ying,DANG Haofei,et al. The progress on application of ensemble prediction to flood forecasting[J]. Journal of Applid Metorlogical Science,2014,25(6):641 -652.]

[8] 包红军,王莉莉,沈学顺,等.气象水文耦合的洪水预报研究进展[J].气象,2016,42(9):1045 -1057.[BAO Hongjun,WANG Lili,SHEN Xueshun,et al. A review:Advances of flood forcasting of hydro-metorlogical forcast technology[J]. Metorlogical,2016,42(9):1045 -1057.]

[9] 徐文文,陈申鹏,李晴岚.2012 年前汛期降水 EC 与 HAPS 数值模式检验[J].气象研究与应用,2013,34(3):14 -16.[XU Wenwen,CHEN Shen peng,LI Qinglan. EC and HAPS numerical model tests of precipitation in 2012 pre-flood season[J].Journal of Metorlogical Research and Application,2013,34(3):14 -16.]

[10] 潘留杰,张宏芳,王建鹏,等.日本高分辨率模式对中国降水预报验能力的客观检[J].高原气象,2014,33(2):483 -494.[PAN Liujie,ZHANG Hongfang,WANG Jianpeng,et al. An objective verification of forecasting ability of Japan high-resolution model precipitation in China[J]. Plateau Metorlogical,2014,33(2):483 -494.]

[11] 周兵,赵翠光,赵声蓉.多模式集合预报技术及其分析与检验[J].应用气象学报,2006,17(9):104 -109.[ZHOU Bing,ZHAO Cuiguang,ZHAO Shengrong. Multi-model ensemble forecast technology with analysis and verification of the results[J]. Journal of Metorlogical Research and Application,2006,17(9):104 -109.]

[12] 李文娟,郦敏杰.MOS 方法在短时要素预报中的应用与检验[J].气象与环境学报,2013,29(2):12 -18.[LI Wenjuan,LI Minjie. Application and verification of MOS statistical method for forecasting of short time meteorological elements[J]. Journal of Meteorology and Environment,2013,29(2):12 -18.]

[13] 黄柱坚,何登科,匡方毅,等.多种细网格模式在长沙定量降水预报中的检验[J].湖南农业科学,2015,(3):105 -108.[HUANG Zhujian,HE Dengke,KUANG Fangyi,et al. Three kinds of fine mesh model application in quantitative precipitation forecast in Changsha[J]. Hunan Agricultural Sciences,2015,(3):105 -108.]

[14] 郑永光,陈炯,朱佩君.中国及周边地区夏季中尺度对流系统分布及其日变化特征[J].科学通报,2008,53(4):471 -481.[ZHENG Yongguang,CHEN Jiong,ZHU Peijun. Distribution and diurnal variation of mesoscale convective systems in China and its surrounding areas in summer[J]. Chinese Science Bulletin,2008,53(4):471 -481.]

[15] 陈炯,郑永光,张小玲,等.中国暖季短时强降水分布和日变化特征及其与中尺度对流系统日变化关系分析[J].气象学报,2013,71(3):367 -382.[CHEN Jong,ZHENG Yongguang,ZHANG Xiaoling,et al. Analysis of the climatological distribution and diurnal variations of the short-duration heavy rain and its relation diurnal variations of the MCSs over China during the warm season[J]. Acta Meteorologica Sinica,2013,71(3):367 -382.]

[16] 李耀东,刘健文,吴洪星,等.对流温度含义阐释及部分示意图隐含悖论成因分析与预报应用[J].气象学报,2014,72(3):628 -637.[LI Yaodong,LIU Jianwen,WU Hongxing,et al. Analysis of the implicit mistakes in the several schematic diagrams for the implication of convective temperature with its application to forecasting[J]. Acta Meteorologica Sinica,2014,72(3):628 -637.]

Inspection of refined precipitation forecast for Ankang Hydropower Station

GAO Hong-yan, XI Qiu-yi, WANG Dan, ZHANG Hong-fang, HAO Yu

(1 *Meteorological Service Center of Shaanxi Province*,*Xi'an* 710014,*Shaanxi*,*China*;

2 *State Grid Shaanxi Electric Power Research Institute*,*Xi'an* 710100,*Shaanxi*,*China*)

Abstract: The development of numerical precipitation forecasting model in high resolution is an ideal way to carry out the refined precipitation forecast service. However, the bias evaluation in model localization is an important process of the current application service. In this study, the bias analysis, clear-rain forecast accuracy, and precipitation *TS* scoring method were used to evaluate the precipitation forecast at Ankang hydropower Station, Shaanxi Province, China in the flood season from May 1 to September 30, 2016 which was provided by the Shaanxi refined numerical forecasting team. The results indicated that the forecast accuracy rate of precipitation is declining with the increase of precipitation forecast aging. The prediction of heavy rain has a high accuracy rate without omission, while the prediction values are less than the actual values. The forecast accuracy rate initialized in 20:00 is higher than that in 08:00, and the accuracy rate at night is higher than that of daytime. Months with more rainfall days have a higher forest accuracy rate according to *TS* scoring than that of months with less rainfall. The forecast accuracy rate of the Ankang is better than that of Shiquan. The main reason is that the precipitation days (precipitation amount) of Ankang is more than those of Shiquan. These hourly and 3-hourly (within 72 hours) precipitation forecasts can provide a reference for the water dispatching service of Ankang hydroelectric power station.

Key words: numerical forecast; test and assessment; precipitation forecast